

Влияние электрического поля на коалесценцию в островковых пленках галлия

С.П. Чижик, С.В. Дукаров, Н.Т. Гладких, Л.К. Григорьева

Харьковский государственный университет им. А.М. Горького

(Представлено академиком Н. Г. Басовым 27 II 1990)

Установлено, что внешнее продольное электрическое поле стимулирует процесс коалесценции в островковых пленках галлия с различным размером частиц на слабопроводящей углеродной подложке, что может рассматриваться как проявление эффекта взаимного заряжения частиц.

© С.П. ЧИЖИК, С.В. ДУКАРОВ,
Н.Т. ГЛАДКИХ, Л.К. ГРИГОРЬЕВА

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА КОАЛЕСЦЕНЦИЮ В ОСТРОВКОВЫХ ПЛЕНКАХ ГАЛЛИЯ

(Представлено академиком Н.Г. Басовым 27 II 1990)

Согласно теоретическим исследованиям [1–3], в коллективе малых металлических частиц (размером $r \lesssim 10$ нм) вследствие размерной зависимости плотности их электронных уровней, приводящей к зависимости фермиевской энергии частиц от радиусов, появляются силы взаимного заряжения между частицами различных размеров.

В качестве модели такой системы может рассматриваться островковая металлическая пленка на слабопроводящей подложке, полученная путем вакуумной конденсации по механизму пар–жидкость. В силу особенностей формирования и роста островковых пленок они характеризуются распределением частиц по размерам, зависящим от условий конденсации. Поэтому силы взаимного заряжения между частицами различных размеров в таких пленках оказываются дополнительным фактором, определяющим их коалесценцию на подложке. Так как силы взаимного заряжения имеют электрическую природу, то их проявление должно зависеть от величины приложенного внешнего электрического поля. Экспериментально проявление этих сил, вероятно, можно обнаружить, исследуя распределение микрочастиц по размерам в результате изотермической выдержки островковых пленок во внешнем продольном постоянном электрическом поле различной величины.

Для экспериментального обнаружения эффекта взаимного заряжения в системе ультрадисперсных металлических частиц на слабопроводящей подложке проведены исследования с использованием конденсированных в вакууме островковых пленок. Основными параметрами, определяющими силы взаимного заряжения в таких пленках, являются размер островков и проводимость подложки, которыми при помощи метода вакуумной конденсации можно управлять непосредственно в процессе приготовления пленок.

Эксперименты проводили следующим образом. На стеклянные пластинки с предварительно нанесенными серебряными контактами, зазор между которыми имел форму клина, конденсировали пленки углерода толщиной до 30 нм. Удельное сопротивление таких пленок (сопротивление квадратного участка пленки) определялось их толщиной и изменялось контролируемым образом в пределах 0,1–10 МОм. На приготовленные таким образом подложки, находящиеся при температуре 50 °С, путем термического испарения напыляли по механизму пар–жидкость пленку галлия, массовую толщину которой контролировали кварцевым резонатором. Поскольку жидкий галлий не смачивает углеродную подложку, то при этом формировалась островковая пленка со сферическими частицами (рис. 1). Средний размер частиц галлия составлял в различных экспериментах 3–10 нм и определялся, с одной стороны, возможностью изучения пленок в электронном микроскопе, а с другой, тем, что согласно [3] эффект взаимного заряжения должен проявляться при размерах частиц менее 10 нм. После конденсации пленки выдерживали при температуре 50 °С в про-

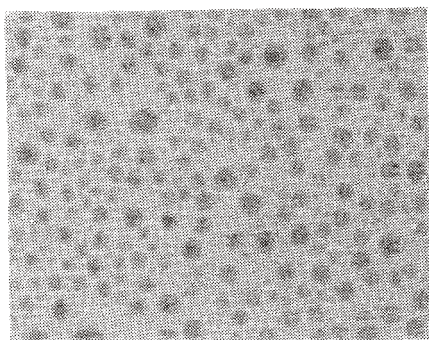


Рис. 1

Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок островковой пленки галлия на углеродной подложке; 200 000 X

Рис. 2. Распределение островков галлия по размерам при конденсации в электрическом поле напряженности 50 (1) 100 (2) 300 (3) 500 В/см (4). $f(r) = N(r) \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$ нм

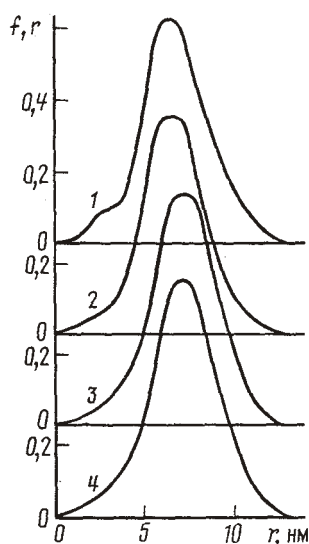


Рис. 2

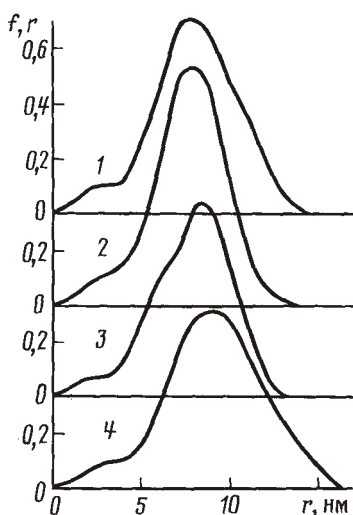


Рис. 3

должном электрическом поле напряженностью до 2000 В/см. Поскольку зазор между контактами был выполнен в виде клина, то это позволяло в одном эксперименте получать образцы, соответствующие изотермической выдержке в поле различной напряженности. Одновременно в том же эксперименте аналогичным образом препарировали контрольные пленки, которые выдерживали в тех же условиях без наложения внешнего электрического поля. Полученные образцы изучали в электронном микроскопе ЭВМ-100БР. По электронно-микроскопическим снимкам строили гистограммы, отражающие распределение частиц галлия по размерам в островковой пленке. Измерения выполняли на участке размером 500 X 500 нм. Для учета возможной погрешности в определении электронно-микроскопического увеличения гистограммы нормировали на постоянную массу толщину пленки галлия, которая задавалась условиями эксперимента. В результате выполненных исследований обнаружено следующее.

В случае, когда препарирование образцов проводили в установке с масляными средствами откачки в вакууме 10^{-4} Па, гистограммы для пленок, выдержанных в электрическом поле, не имеют никаких особенностей по сравнению с гисто-

граммами для контрольных пленок, выдержанных без поля. Полученные кривые распределения объемов частиц по размерам $N(r) \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = f(r)$ характеризуются одним (при $r_{\max} < 10$ нм) или несколькими (при больших размерах) максимумами, положение которых не коррелирует с напряженностью приложенного электрического поля. Величина $N(r) \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$ представляет собой объем частиц радиусом $r \pm 0,5$ нм на единице площади пленки и в первом приближении имеет смысл эффективной толщины пленки, образуемой частицами данного интервала размеров. Отсутствие эффекта может быть связано с зарастанием пленки продуктами разложения вакуумных масел, что стабилизирует пленку, препятствуя коалесценции частиц. Если в тех же вакуумных условиях конденсация галлия на углеродных подложках происходила во внешнем электрическом поле, то непосредственно после прекращения конденсации без изотермической выдержки наблюдалось смещение максимума на гистограммах с ростом напряженности поля в область больших размеров частиц (рис. 2). Так, например, величина смещения максимума для островковой пленки на углеродной подложке с удельным сопротивлением 3 МОм при напряженности поля 500 В/см составляла примерно 10% по сравнению с образцами, полученными без приложения внешнего поля. Однако однозначная интерпретация этих результатов затруднительна, поскольку внешнее электрическое поле может влиять не только на коалесценцию, но и на зарождение и рост островковой пленки [4].

Наиболее отчетливо влияние продольного электрического поля на распределение микрочастиц по размерам проявляется на островковых пленках, препарированных в вакууме 10^{-5} Па в установке с безмасляной системой откачки. На рис. 3 представлены гистограммы островковых пленок галлия на углеродных подложках с удельным сопротивлением 4,2 МОм, выдержанных после прекращения конденсации во внешнем электрическом поле в течение одного часа при температуре 50 °С. Видно, что увеличение напряженности поля приводит к смещению максимума в область больших значений размеров. Так, для пленок со средним радиусом частиц порядка 10 нм наблюдается увеличение размера капель, соответствующего максимуму на гистограммах, примерно на 20% при напряженности поля 1000 В/см.

Таким образом, из полученных результатов следует, что внешнее продольное электрическое поле стимулирует процесс коалесценции в островковых пленках галлия с различным размером частиц на слабопроводящей углеродной подложке, что может рассматриваться как проявление предсказанного в работах [1–3] эффекта взаимного заряжения частиц.

Харьковский государственный университет
им. А.М. Горького

Поступило
2 III 1990

ЛИТЕРАТУРА

1. Морохов И.Д., Трусов Л.И., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. М.: Атомиздат, 1977. 264 с.
2. Григорьева Л.К., Лидоренко Н.С., Нагаев Э.Л., Чижик С.П. – ЖЭТФ, 1986, т. 91 № 3, с. 1050–1062.
3. Лидоренко Н.С., Чижик С.П., Гладких Н.Т. и др. – Металлы, 1981 № 6, с. 91–95.
4. Байцар А.С., Яцишин Б.П. В сб. Свойства малых частиц и островковых металлических пленок. Киев: Наук. думка, 1985, с. 16–17.